Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 2, Summer 2022, p. 147-162

Improving Yield, Yield Components and the Absorption of Nutrients of Wheat by Growth Stimulants under Normal Irrigation and Drought Stress

M. Rajaie[1*]

Received: 01-09-2021 Revised: 03-02-2022 Accepted: 09-02-2022	**How to cite this article:** Rajaie, M. 2022. Improving Yield, Yield Components and the Absorption of Nutrients of Wheat by Growth Stimulants under Normal Irrigation and Drought Stress. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 147-162. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/jcesc.2022.72226.1083.

Introduction

Drought stress is one of the most important factors in reducing crop production in many arid and semi-arid regions of the world. In recent years, the use of growth stimulants to prevent the excessive use of chemical fertilizers and induce tolerance to environmental stresses has increased in order to achieve the goals of sustainable agriculture. Unlike chemical fertilizers, these compounds with the least adverse environmental effects are involved in increasing crop yields and conserving natural resources. The use of growth stimulants is one of the promising ways to overcome drought stress. Based on reports expressing the positive effects of growth stimulants drought tolerance, the present study was designed to investigate the moderating effect of growth stimulants at different irrigation intervals on improving yield, yield components and nutrient concentration in wheat.

Materials and Methods

The experiment was performed as a split plot based on randomized complete block design with three replications. This research was conducted during the growing seasons of 2017-2018 and 2018-2019 in Fars Agricultural and Natural Resources Research Center (Darab Agricultural Research station). The main factor includes different irrigation intervals at two levels (irrigation after 70 and 140 mm of cumulative evaporation from Class A evaporation pan) and the secondary factor includes the use of growth stimulants at seven levels (control, soil application of humic acid, foliar spray of amino acids, fulvic acids and seaweed extract, seed inoculation of Azotobacter and the combination of growth stimulants). The amount of irrigation water required in irrigation treatments was determined based on soil moisture supply at the depth of root development to reach the field capacity. Soil moisture was measured by weight method and through soil sampling in the middle of each plot to determine the evacuated moisture after reaching the desired cumulative evaporation. Foliar application of amino acids, fulvic acids and seaweed extract was performed at the concentration of 5 kg $m^{-3}$of water in two stages of tillering and complete emergence of spike. Humic acid fertilizer at a rate of 5 $kg.ha^{-1}$ was applied in the early stages of growth with the second irrigation. Seed Azotobacter inoculum was used at a rate of 1.5%. Finally, the concentration of nutrients in straw and grain, straw and grain dry weight, biological yield, harvest index and yield components were measured. Analysis of data variances was performed using SAS software version 9.1. Bartlett test was performed on all studied traits.

Results and Discussion

The results showed that the highest concentration of macro and micro nutrients in grain and straw were obtained in the combined treatment of growth stimulants. After this treatment, a significant increase in the concentration of nutrients was observed in the individual consumption of growth stimulants. Combination treatment of growth stimulants increased wheat biological yield by 18% compared to the control. Also, at a lower level, individual application of growth stimulants improved the biological yield compared to the control. The combination of growth stimulants and subsequently the individual application of these compounds improved

1- Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran
(*- Corresponding Author Email: rajaie.majid@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2022.72226.1083

the yield components of wheat. In the first and second year, irrigation after 140 mm of cumulative evaporation reduced the biological yield by 14 and 25% compared to 70 mm of cumulative evaporation, respectively. Also, irrigation after 140 mm of cumulative evaporation reduced the dry weight of straw, grain yield and harvest index compared to 70 mm of cumulative evaporation. In general, the results showed that the uptake of some nutrients was affected by the 140 mm cumulative evaporation treatment from the evaporation pan. However, in the second year of planting, due to the presence of frequent rains before flowering, the treatment of 140 mm of cumulative evaporation from the evaporation pan had less effect on nutrient uptake.

Conclusion

Overall, the use of a combination of growth stimulants was effective in increasing grain yield, biological yield and yield components of wheat. The results of this study showed that the growth stimulants to some extent caused drought tolerance by improving nutrients uptake. Therefore, the combination of growth stimulants in both normal irrigation and drought stress conditions can be used to improve nutrient uptake and wheat grain yield.

Keywords: Azotobacter, Grain yield, Humic acid, Seaweed extract

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۰، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، ص ۱۶۲-۱۴۷

بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم با ترکیبات محرک رشد تحت آبیاری نرمال و تنش خشکی

مجید رجایی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰

چکیده

طی سال‌های اخیر جهت رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار استفاده از محرک‌های زیستی به‌منظور جلوگیری از کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی و القای تحمل به تنش‌های محیطی افزایش یافته است. بهبود غلظت عناصر غذایی و عملکرد گندم با استفاده از ترکیبات محرک رشد تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی فرضیه در این پژوهش بود. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۶ انجام شد. عامل اصلی شامل فواصل مختلف آبیاری در دو سطح (آبیاری بعد از ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و عامل فرعی استفاده از محرک‌های زیستی در هفت سطح (شاهد بدون محرک رشد، مصرف خاکی اسید هیومیک، محلول‌پاشی اسید آمینه، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی، مصرف مایع تلقیح ازتو باکتر و تلفیق ترکیبات محرک رشد) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان غلظت عناصر پرمصرف و کم مصرف کاه و دانه از تلفیق ترکیبات محرک رشد به‌دست آمد. پس از این افزایش معنی‌دار غلظت عناصر در مصرف منفرد ترکیبات محرک رشد مشاهده شد. آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش وزن خشک کاه و کلش، عملکرد دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر شد. تلفیق ترکیبات محرک رشد و پس از آن ترکیبات منفرد اجزای عملکرد گندم را بهبود دادند. بنابراین ترکیبات محرک رشد از طریق بهبود جذب عناصر غذایی سبب تحمل به تنش خشکی شدند. همچنین تلفیق ترکیبات محرک رشد در افزایش عملکرد دانه گندم نقش به‌سزایی داشت.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی، عملکرد دانه

مقدمه

پیش‌بینی‌هایی مبنی بر محدودیت تولید مواد غذایی برای جمعیت رو به رشد جهان (حدود ۹ میلیارد در سال ۲۰۵۰) وجود دارد. بنابراین شناخت عوامل حیاتی تأثیرگذار بر رشد و عملکرد از مهم‌ترین جنبه‌های موفقیت در تولید محصولات زراعی از جمله گندم به‌شمار می‌آیند (Raimondo *et al.*, 2021). گندم (*Triticum aevestum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان راهبردی است که مصارف زیادی به‌ویژه در تغذیه انسان داشته و اهمیت آن بر کسی پوشیده نیست. امروزه لزوم پرداختن به مدیریت تولید این گیاه زراعی در شرایط تنش‌های محیطی به‌منظور دستیابی به حداکثر پتانسیل رشد و عملکرد برای تأمین غذا، ضرورتی انکارناپذیر است (Trethowan and Mujeeb-Kazi, 2008). برخی از عوامل غیر زیستی از جمله تنش خشکی بر رشد و عملکرد گندم اثر می‌گذارند، به‌طوری‌که باروری زیستی حداقل در خاک‌های متأثر از خشکی به‌عنوان یک مشکل اساسی محسوب می‌گردد (Arif *et al.*, 2017). در بخش‌های عمده‌ای از ایران، تنش خشکی باعث کاهش شاخص‌های رشد و عملکرد گندم می‌شود (Saeidi *et al.*, 2017).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در کاهش تولید عملکرد گیاهان زراعی از جمله گندم در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Khatiwada *et al.*, 2020). تنش خشکی با تغییر در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و کاهش جذب عناصر غذایی سبب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (Sabagh *et al.*, 2019). همچنین تنش خشکی می‌تواند سبب اختلال در فرایند فیزیولوژیکی گیاه از جمله فتوسنتز و افزایش تنش اکسیداتیو در گیاهان شود (Razi and Muneer, 2021). البته هنوز به‌طور کامل مشخص نشده که

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: rajaie.majid@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2022.72226.1083

کدام عوامل تحت شرایط تنش خشکی، نقش مهم‌تری در بازدارندگی رشد و کاهش عملکرد گیاهان را دارا می‌باشند. براساس گزارش محققان عوامل متعددی سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی و تغییر در مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌شود (Attarzadeh *et al*., 2020). گزارش شده که افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی سبب بهبود شاخص‌های فتوسنتزی می‌شود که نقش به‌سزایی در افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی دارد (Attarzadeh *et al*., 2019).

مصرف ترکیبات محرک رشد یکی از روش‌های بسیار امیدوارکننده برای غلبه بر تنش خشکی است. در واقع تعریف ترکیبات محرک رشد شامل بر هر ماده‌ای است که برای گیاه مفید می‌باشد و به‌صورت طبیعی جهت افزایش رشد، توسعه ویژگی‌های کیفی و افزایش تحمل به تنش‌های محیطی استفاده می‌شود (Halpern *et al*., 2015). ترکیبات محرک رشد می‌توانند مواد طبیعی موجود در خاک باشند که ناشی از تجزیه بقایای گیاهان و حیوانات هستند و از فعالیت متابولیکی میکروارگانیسم‌های خاک به‌دست می‌آیند (Rose *et al*., 2014). طی سال‌های اخیر دامنه استفاده از محرک‌های زیستی در کشاورزی به دلیل پتانسیل آن‌ها در کشاورزی پایدار افزایش یافته است. محرک‌های زیستی اصولاً به‌منظور جلوگیری از کاربرد بیش از حد (بی‌رویه) کودهای شیمیایی و افزایش تحمل به تنش‌های محیطی استفاده می‌گردند (Bulgari *et al*., 2019). برخلاف کودهای شیمیایی، این ترکیبات با کمترین اثرات سوء زیست‌محیطی در افزایش بازده عملکرد محصولات کشاورزی و حفظ منابع طبیعی نقش دارند (Aamir *et al*., 2020). اسیدهای آمینه، عصاره جلبک دریایی، اسیدهای هیومیک و فولیک مثال‌های بسیار مناسبی برای این ترکیبات هستند (Battacharyya *et al*., 2015; Canellas *et al*., 2015). نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان می‌دهد که انواع مختلف اسیدهای آمینه، تحمل گیاهان را نسبت به تنش‌های محیطی افزایش می‌دهند. از نقش‌های اسیدهای آمینه می‌توان به تنظیم انتقال یون‌ها، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها و عمل به‌عنوان اسمولیت اشاره کرد (Anjum *et al*., 2014). همچنین مصرف اسید هیومیک با افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود فتوسنتزی سبب افزایش عملکرد می‌گردد (Khan *et al*., 2012). افزایش رشد حاصل از اسید هیومیک و اسید فولیک به دلیل تأثیر تسریع‌کننده آن‌ها بر فعالیت آنزیم ATP_{ase}-H^+ می‌باشد که انتقال انرژی و نسبت جذب نیترات را در گیاه افزایش می‌دهند (Canellas *et al*., 2015). عصاره جلبک دریایی حاوی ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه و هورمون‌های رشد سیتوکنین و اکسین می‌باشد که تأثیرات مفیدی بر رشد گیاه دارند (Battacharyya *et al*., 2015).

استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی سبب ایجاد مشکلات و نگرانی‌هایی در اکوسیستم‌های کشاورزی شده است. در مقابل ترکیبات محرک رشد با کاهش مصرف کودهای شیمیایی، افزایش بازده جذب عناصر غذایی و بهبود عملکرد محصولات کشاورزی نقش قابل ملاحظه در حفظ محیط‌زیست و توسعه کشاورزی پایدار دارند. بر اساس گزارش‌های بیان‌کننده اثرات مثبت ترکیبات محرک رشد در تحمل به تنش خشکی، پژوهش حاضر طراحی شد تا تأثیر تعدیل‌کنندگی ترکیبات محرک رشد را در فواصل مختلف آبیاری بر بهبود غلظت عناصر غذایی و عملکرد و اجزای عملکرد در گندم بررسی شود.

مواد و روش‌ها

طراحی آزمایش و تیمارها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۶ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس- شهرستان داراب، با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۶۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۷۴ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل فواصل مختلف آبیاری در دو سطح (آبیاری بعد از ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و عامل فرعی شامل استفاده از محرک‌های زیستی در هفت سطح (شاهد (بدون مصرف محرک رشد)، مصرف خاکی اسید هیومیک، محلول‌پاشی اسید آمینه، اسید فولیک و عصاره جلبک دریایی، مصرف مایع تلقیح ازتو باکتر به‌صورت بذرمال و تلفیق ترکیبات محرک رشد) بودند. محلول‌پاشی اسید آمینه، اسید فولیک و جلبک دریایی با غلظت پنج در هزار در دو مرحله پنجه‌زنی و ظهور کامل سنبله انجام شد. کاربرد کود اسید هیومیک به میزان پنج کیلوگرم در هکتار در مراحل اولیه رشد با آبیاری دوم صورت گرفت. مصرف مایع تلقیح ازتو باکتر به میزان ۱/۵ در صد به‌ازای بذر مصرفی به‌صورت بذرمال استفاده شد. در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد تمامی محرک‌های رشد به‌جز اسید فولیک در زمان‌های گفته شده استفاده شد. ترکیبات محرک رشد، همگی از منبع تجاری مورد تایید موسسه تحقیقات خاک و آب ایران تهیه شدند. رقم گندم استفاده شده در این پژوهش چمران ۲ بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب تهیه شد. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به شرح جدول ۱ تعیین شدند. همچنین تعداد آبیاری، حجم آب آبیاری، حجم بارندگی و حجم کل آب مصرفی در طول اجرای پژوهش به شرح جدول ۲ بود. همچنین میزان بارندگی در طول اجرای آزمایش در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک داراب به شرح شکل ۱ بود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

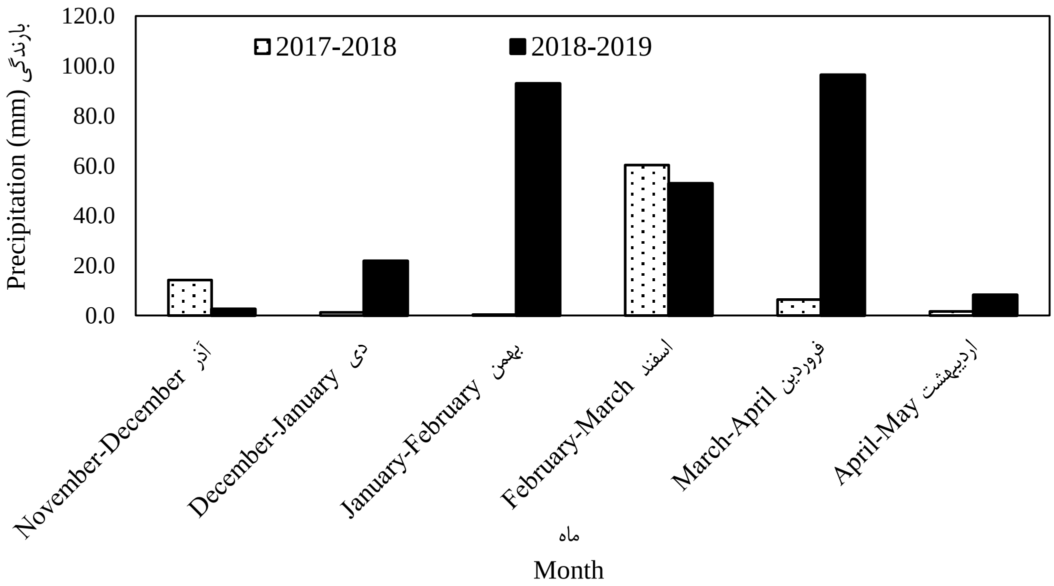
Table 1- The soil physical and chemical analysis

سال Year	عمق Depth (cm)	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	اسیدیته pH	کربن آلی O.C	آهک TNV	N	P	K	Mn	Fe	Cu	Zn
					(%)			(mg kg^{-1})					
1 (2017-2018)	0-30	Loam	1.05	8.3	0.55	32	0.09	12	165	9.8	8.6	0.87	0.97
2 (2018-2019)	0-30	Loam	0.9	8.1	0.61	30	0.06	10.2	182	7.6	4.7	1.0	1.2

جدول ۲- مقدار آبیاری و بارندگی در دو سال انجام آزمایش

Table 2- The amount of irrigation water and precipitation in two years of the experiment.

سال Year	فواصل آبیاری (تبخیر تجمعی) Irrigation regimes (Cumulative evaporation)	تعداد آبیاری Number of irrigation	حجم آب آبیاری Irrigation water amount (m^3 ha^{-1})	حجم بارندگی Precipitation amount (m^3 ha^{-1})	حجم کل آب مصرفی Total amount of consumed water (m^3 ha^{-1})
1 (2017-2018)	70	8	6559	844	7403
	140	5	5241	844	6085
2 (2018-2019)	70	5	4379	2750	7129
	140	3	2983	2750	5733



شکل ۱- میزان بارندگی برای فصل‌های مختلف از آذر تا اردیبهشت ماه ۹۸-۱۳۹۶

Figure 1- Rainfall conditions for seasonal patterns from November to May 2017-2018 and 2018-2019

قبل از هر کشت و زمانی که رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی بود، با شخم و دیسک بستر بذر آماده شد. با توجه به طرح آماری تعداد ۴۲ واحد آزمایشی (کرت) به ابعاد ۲×۶ متر با حاشیه دو متر توسط مرزبند احداث گردید. با توجه به نتایج آزمون خاک، اقلیم و پتانسیل تولیدی منطقه نسبت به توصیه کودی تلفیقی اقدام گردید. در هر دو سال مقادیر ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم

سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم اوره به‌صورت پیش‌کاشت با خاک مخلوط شدند. مقادیر تکمیلی شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در مرحله پنجه‌زنی و ۱۰۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۱۰۰ کیلوگرم قبل از گلدهی استفاده گردید (Moshiri *et al.*, 2016). بذر رقم چمران ۲ پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاپتان به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار صورت ردیفی در آذر ماه ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ کشت شد. مبارزه با علف‌های هرز با دست انجام شد. عملیات برداشت در اوائل خرداد ماه ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد.

اعمال تیمار رطوبتی

پس از کاشت تمام کرت‌ها در آبیاری اول و آبیاری دوم به‌صورت یکنواخت آبیاری شدند. تنش آبیاری بعد از استقرار گیاه و بعد از آبیاری دوم اعمال شد. میزان آب آبیاری مورد نیاز در تیمارهای آبیاری بر اساس تامین رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه برای رسیدن به حد ظرفیت زراعی (FC) تعیین گردید. اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی و از طریق نمونه‌گیری‌های خاک در وسط هر کرت انجام شد تا رطوبت تخلیه شده پس از رسیدن به تبخیر تجمعی مورد نظر مشخص گردد. مقدار آب مصرفی برای هر کرت با در نظر گرفتن رطوبت ظرفیت زراعی خاک، مساحت هر کرت و عمق توسعه ریشه محاسبه شد. میزان آب مصرفی به‌وسیله پارشال فلوم نصب شده در مزرعه اندازه‌گیری شد و آبیاری هر تیمار تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی ادامه یافت. برای تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های پژوهش

غلظت عناصر دانه و کاه و کلش

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر دانه و کاه کلش نمونه‌برداری پس از برداشت انجام گرفت. نمونه‌های دانه و کاه و کلش پس از چند بار شستشو با آب مقطر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون خشک شدند. برای تعیین نیتروژن، نمونه‌ها هضم شدند و براساس تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کجلدال مدل V40 اندازه‌گیری انجام شد (Lang, 1958). اندازه‌گیری فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز دانه و کاه کلش در عصاره حاصل از خاکستر گیاهی حل شده در اسید کلریدریک دو نرمال انجام گرفت. در عصاره به‌دست آمده، غلظت فسفر به روش رنگ‌سنجی، با استفاده از معرف مولیبدات–واندات و توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Vis 2100 در طول موج ۴۲۰ نانومتر و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل 620G اندازه‌گیری شد. همچنین عناصر آهن، روی، مس و منگنز دانه و کاه کلش گندم با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA 6400 اندازه‌گیری شد (Madison, 1971).

وزن خشک کاه و کلش و دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن هزار دانه

در هر دو سال به‌منظور حذف اثر حاشیه‌ای، برداشت در هر کرت از ردیف‌های وسط و در مساحتی معادل یک متر مربع صورت گرفت. پس از جداسازی دانه‌ها، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند و تعیین وزن خشک کاه و کلش، وزن خشک دانه و عملکرد بیولوژیک (وزن خشک کل) توسط ترازوی دقیق انجام گرفت. شاخص برداشت از نسبت وزن خشک دانه به عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد (رابطه ۱).

(۱) شاخص برداشت = وزن خشک دانه / وزن خشک بیولوژیکی × ۱۰۰

اجزای عملکرد

قبل از برداشت، اجزای عملکرد گندم شامل تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله اندازه‌گیری شد.

آنالیز آماری

تجزیه واریانس داده‌ها برای ویژگی‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه L.S.Means انجام گردید.

نتایج و بحث

محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه و کاه کلش

نتایج نشان داد که اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر میزان نیتروژن دانه و کاه و کلش گندم معنی‌دار بود، همچنین نیتروژن دانه و کاه و کلش تحت تأثیر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال قرار گرفت. از سوی دیگر برهم‌کنش ترکیبات محرک رشد و سال، محتوای نیتروژن دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). بیشترین میزان غلظت نیتروژن کاه و کلش با میزان ۱/۶۳ درصد در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد به‌دست آمد (جدول ۴). پس از این تیمار افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن کاه و کلش نسبت به شاهد در تیمار محلول‌پاشی اسید آمینه مشاهده شد. برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال نشان داد که در سال اول، کمترین نیتروژن کاه و کلش با مقدار ۰/۹۱ درصد مربوط به آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از

تشتک تبخیر بود که نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر (۱/۶۱ درصد) اختلاف معنی‌داری نشان داد در سال دوم، اختلاف معنی‌داری بین فواصل مختلف آبیاری وجود نداشت. تیمار آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر در سال اول و دوم سبب کاهش معنی‌دار نیتروژن دانه گندم شد (جدول ۵). از سوی دیگر در سال اول، نیتروژن دانه در تلفیق ترکیبات محرک رشد و مصرف منفرد این ترکیبات افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۶). همچنین در سال دوم تلفیق ترکیبات محرک رشد و در سطح پایین‌تر کاربرد اسید آمینه توانست غلظت نیتروژن دانه را بهبود دهد.

اثر ترکیبات محرک رشد بر میزان فسفر کاه و کلش گندم معنی‌دار بود، همچنین برهم‌کنش ترکیبات محرک رشد و سال، محتوای فسفر کاه و کلش را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). از سوی دیگر محتوای فسفر دانه تحت تأثیر عوامل آزمایشی قرار نگرفت. در سال اول، فسفر کاه و کلش در ترکیبات محرک رشد نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۶). همچنین در سال دوم تلفیق ترکیبات محرک رشد توانست غلظت فسفر کاه و کلش را بهبود دهد.

اثر فواصل آبیاری بر میزان پتاسیم کاه و کلش و دانه گندم معنی‌دار بود، همچنین پتاسیم کاه و کلش و دانه تحت تأثیر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال قرار گرفت (جدول ۳). برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال نشان داد که در سال اول، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش معنی‌دار پتاسیم کاه و کلش و دانه نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر شد (جدول ۵). از سوی دیگر در سال دوم، اختلاف معنی‌داری بین فواصل مختلف آبیاری وجود نداشت (جدول ۵).

در سال اول آزمایش، جذب عناصر غذایی تحت تاثیر فواصل مختلف آبیاری قرار گرفت و تیمار آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش جذب عناصر پرمصرف شد. در سال دوم به دلیل میزان بارندگی بیشتر تا قبل از دوره گلدهی، میزان جذب عناصر غذایی در فواصل مختلف آبیاری تقریبا یکسان بود (جدول ۵). تنش خشکی از طریق کاهش انتقال عناصر از خاک به درون ریشه و آوندهای گیاه، محتوای عناصر غذایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Dotaniya and Meena, 2015). همچنین کاهش میزان تعرق به‌دلیل تنش خشکی، سبب کاهش جذب عناصر غذایی و کارایی استفاده از آن‌ها می‌گردد (Farooq *et al.*, 2009). ترکیبات محرک رشد به‌کار رفته در این پژوهش، تاثیر بارزتری بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف گندم داشتند. گزارش شده است که عناصر غذایی موجود در محرک‌های رشد به راحتی توسط برگ‌ها از طریق روزنه و یا کوتیکول جذب می‌شوند (Battacharyya *et al.*, 2015). همچنین مصرف خاکی اسید هیومیک می‌تواند شکل‌های نامحلول معدنی و آلی فسفر را به شکل‌های قابل جذب تبدیل کند و جذب فسفر توسط ریشه را افزایش دهد (Du Jardin, 2015). با توجه به دانش فعلی، ترکیبات محرک‌های رشد با بیان ژن‌های کلیدی برای آنزیم‌های درگیر در جذب و متابولیسم عناصر غذایی سبب جذب کارآمد عناصر غذایی می‌گردند (Pylak *et al.*, 2019; Klokić *et al.*, 2020). محققان (Moshiri *et al.*, 2016) حد بهینه نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در برگ گندم به‌ترتیب بین ۲/۵ تا ۳/۰، ۰/۲ تا ۰/۴ و ۱/۸ تا ۳ درصد بیان می‌کنند. نتایج ارائه شده در جدول ۴ و ۶ نشان می‌دهد که غلظت نیتروژن و فسفر تا حدودی زیر حد بهینه بوده است. به عبارتی می‌توان گفت که احتمالا به دلیل فقر عناصر غذایی در خاک‌های منطقه جنوب کشور و تنش خشکی حاصله شده، مقدار نیتروژن کمی جذب شده است. در هر صورت استفاده از ترکیبات محرک‌های رشد تا حدودی سبب افزایش غلظت نیتروژن و فسفر در اندام هوایی گیاه شده است.

محتوای عناصر آهن، منگنز، روی و مس کاه و کلش و دانه

اثر ترکیبات محرک رشد بر میزان عنصر آهن کاه و کلش و دانه گندم معنی‌دار بود، همچنین برهم‌کنش ترکیبات محرک رشد و سال، محتوای آهن کاه و کلش و دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). در سال اول، تلفیق ترکیبات محرک رشد و مصرف اسید فولیک توانست سبب افزایش ۲۶ درصدی آهن برگ نسبت به شاهد شود. پس از آن، تیمارهای مصرف آمینواسید و اسید هیومیک نسبت به دیگر تیمارها غلظت آهن کاه و کلش بیشتری داشتند. همچنین در سال دوم، تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد توانایی نسبتا بالایی در افزایش آهن کاه و کلش نشان داد از سوی دیگر تیمارهای تلفیق ترکیبات محرک رشد مشابه با مصرف منفرد اسید فولیک و جلبک دریایی توانایی نسبتا بالایی در افزایش آهن دانه در سال اول و دوم نشان دادند (جدول ۶).

اثر ترکیبات محرک رشد بر میزان عنصر منگنز کاه و کلش و دانه گندم معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش عوامل آزمایشی نتوانست محتوای منگنز کاه و کلش و دانه را تحت تاثیر قرار دهد (جدول ۳). تلفیق ترکیبات محرک رشد و مصرف اسید هیومیک با قرار گرفتن در یک گروه آماری مشابه غلظت منگنز کاه و کلش و دانه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای فواصل آبیاری و محرک رشد بر غلظت عناصر کاه و کلش و دانه گندم

Table 3- Analysis of variance for the effects of irrigation intervals and growth stimulants on the straw and grain elements of Wheat

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	نیتروژن کاه و کلش Straw N	نیتروژن دانه Grain N	فسفر کاه و کلش Straw P	فسفر دانه Grain P	پتاسیم کاه و کلش Straw K	پتاسیم دانه Grain K	آهن کاه و کلش Straw Fe	آهن دانه Grain Fe	منگنز کاه و کلش Straw Mn	منگنز دانه Grain Mn	روی کاه و کلش Straw Zn	روی دانه Grain Zn	مس کاه و کلش Straw Cu	مس دانه Grain Cu
Year سال	1	ns	*	**	ns	*	ns	**	ns	ns	ns	ns	**	**	ns
Block تکرار	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
فواصل آبیاری Irrigation intervals (Ii)	1	**	**	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
تکرار×آبیاری Block × Ii (E_a)	2	0.04	0.01	0.001	0.001	0.02	0.0009	99.2	5.7	6.6	112.7	2.5	13.0	0.21	1.3
محرک رشد Growth stimulants (Gs)	6	**	**	*	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**	*	**
فواصل آبیاری×محرک رشد Ii × Gs	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
تکرار×محرک رشد Block × Gs (E_b)	24	0.030	0.04	0.0002	0.0004	0.04	0.003	226.7	19.8	10.9	30.6	3.6	10.7	0.234	0.792
فواصل آبیاری×سال Ii × Year	1	*	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
تکرار×فواصل آبیاری×سال Block × Ii × Year (E_c)	4	0.175	0.176	0.0005	0.0004	0.098	0.002	38.9	0.69	9.3	10.3	1.4	11.8	0.148	0.796
محرک رشد×سال Gs × Year	6	ns	**	*	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	*	**
فواصل آبیاری×محرک رشد×سال Ii × Gs × Year	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Error خطا	24	0.030	0.033	0.0002	0.0006	0.041	0.001	62.73	0.53	9.67	21.98	4.13	8.32	0.156	0.575
C.V. (%) ضریب تغییرات	-	12.8	8.6	23.6	11.2	8.0	8.4	5.6	4.2	11.5	10.2	12.9	7.9	14.5	13.2

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار.

*, ** and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

جدول ٤- اثر محرک رشد روی نیتروژن کاه و کلش، منگنز کاه و کلش، منگنز دانه، روی کاه و کلش و روی دانه در گندم

Table 4- Effect of growth stimulants on straw N, straw Mn, grain Mn, straw Zn and grain Zn in Wheat.

محرک‌های رشد Growth stimulants	نیتروژن کاه و کلش Straw N	منگنز کاه و کلش Straw Mn	منگنز دانه Grain Mn	روی کاه و کلش Straw Zn	روی دانه Grain Zn
	%	mg kg^{-1}			
شاهد Control	1.20 c	24 c	42 c	13.6 d	30.9 d
اسید آمینه Amino Acid	1.48 b	26 c	45 bc	14.5 d	34.8 c
اسید هیومیک Humic Acid	1.21 c	28 ab	48 ab	15.5 bc	36.3 bc
اسید فولیک Fulvic Acid	1.35 bc	25 c	44 bc	16.2 bc	35.8 c
عصاره جلبک دریایی Seaweed Extract	1.28 c	27 abc	45 bc	16.4 b	39.0 ab
ازتو باکتر Azotobacter	1.33 bc	25 c	43 bc	15.1 bcd	35.3 c
تلفیق محرک‌های رشد Combination of growth Stimulants	1.63 a	29 a	51 a	18.4 a	40.9 a

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سال و فواصل آبیاری روی نیتروژن کاه و کلش، نیتروژن دانه، پتاسیم کاه و کلش، پتاسیم دانه، روی کاه و کلش و روی دانه در گندم

Table 5- Mean comparison of year and irrigation intervals on straw N, grain N, straw K, grain K, straw Zn and grain Zn in Wheat

سال Year	فواصل آبیاری (تبخیر تجمعی) Irrigation intervals (Cumulative evaporation)	نیتروژن کاه و کلش Straw N	نیتروژن دانه Grain N	پتاسیم کاه و کلش Straw K	پتاسیم دانه Grain K	روی کاه و کلش Straw Zn	روی دانه Grain Zn
		%				mg kg^{-1}	
1 (2017-2018)	70	1.61 a	2.28 a	2.81 a	0.544 a	15.8 a	39.7 a
	140	0.91 b	1.82 b	2.50 b	0.431 b	15.3 a	37.8 a
2 (2018-2019)	70	1.52 a	2.29 a	2.47 a	0.511 a	17.0 a	35.6 a
	140	1.37 a	2.00 b	2.36 a	0.477 a	14.8 b	31.4 b

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون و هر فواصل آبیاری اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means slicing by irrigation intervals in each year followed by the same letters have no significant difference on the basis of L.S. Means by Duncan test procedure.

اثر فواصل آبیاری بر میزان عنصر روی کاه و کلش گندم معنی‌دار بود، همچنین ترکیبات محرک رشد غلظت روی کاه و کلش و دانه گندم را تحت تاثیر قرار دادند (جدول ۳). از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، محتوای عنصر روی کاه و کلش و دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش غلظت عنصر روی کاه و کلش و دانه به‌ترتیب به میزان ۳۵ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). در سطح پایین‌تر مصرف اسید هیومیک، اسید فولیک و عصاره جلبک دریایی سبب افزایش معنی‌دار عنصر روی کاه و کلش گندم شد. در هر حال ترکیبات محرک رشد توانایی نسبتا بالایی در افزایش روی دانه نشان دادند. برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال نشان داد که در سال دوم، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش معنی‌دار عنصر روی کاه و کلش و دانه نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر شد. از سوی دیگر در سال اول، اختلاف معنی‌داری بین فواصل مختلف آبیاری وجود نداشت (جدول ۵).

اثر ترکیبات محرک رشد بر میزان مس کاه و کلش و دانه گندم معنی‌دار بود، همچنین برهم‌کنش ترکیبات محرک رشد و سال، مس

کاه و کلش و دانه گندم را تحت تـاثیر قـرار داد (جـدول ۳). در سـال اول، تلفیق ترکیبات محرک رشد و مصرف ازتوبـاکتر توانسـت سـبب افزایش ۴۰ درصدی مس کاه و کلش نسبت به شاهد شـود همچنـین در سال دوم، تلفیق ترکیبات محرک رشـد نسـبت بـه دیگـر تیمارهـا غلظت مس کاه و کلش بیشتری داشت. نتایج دیگر نشان داد که تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد و مصـرف منفـرد ایـن ترکیبـات توانـایی نسبتا بالایی در افزایش مس دانه در سال اول داشتند. از سـوی دیگـر در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین ترکیبات محرک رشد نسـبت بـه شاهد مشاهده نشد (جدول ۶).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر سال و محرک رشد روی نیتروژن دانه، فسفر کاه و کلش، آهن کاه و کلش، آهن دانه، مس کاه و کلش و مس دانه در گندم

Table 6- Comparison of mean for the interaction of year and growth stimulants on grain N, straw P, straw Fe, grain Fe, straw Cu and grain Cu in Wheat

سال Year	محرک‌های رشد Growth stimulants	نیتروژن دانه Grain N	فسفر کاه و کلش Straw P	آهن کاه و کلش Straw Fe	آهن بذر Grain Fe	مس کاه و کلش Straw Cu	مس دانه Grain Cu
		%		mg kg^{-1}			
1 (2017-2018)	شاهد Control	1.52 b	0.025 a	132 c	55 c	2.0 b	4.3 d
	اسید آمینه Amino Acid	2.18 a	0.025 a	145 b	55 c	2.3 ab	5.1 c
	اسید هیومیک Humic Acid	2.06 a	0.025 a	149 b	56 bc	2.5 ab	5.3 c
	اسید فولیک Fulvic Acid	2.23 a	0.021 a	166 a	64 a	2.5 ab	6.5 b
	عصاره جلبک دریایی Seaweed Extract	2.10 a	0.025 a	142 bc	59 b	2.5 ab	5.3 c
	ازتو باکتر Azotobacter	2.03 a	0.025 a	141 bc	56 bc	2.8 a	5.8 c
	تلفیق محرک‌های رشد Combination of growth Stimulants	2.25 a	0.023 a	166 a	65 a	2.8 a	7.3 a
2 (2018-2019)	شاهد Control	1.90 c	0.093 b	122 b	54 c	2.7 b	5.7 a
	اسید آمینه Amino Acid	2.18 b	0.093 b	122 b	55 c	2.9 ab	5.6 a
	اسید هیومیک Humic Acid	2.08 bc	0.121 ab	129 b	56 bc	3.0 ab	5.9 a
	اسید فولیک Fulvic Acid	2.00 bc	0.098 b	130 b	66 a	3.0 ab	5.6 a
	عصاره جلبک دریایی Seaweed Extract	2.14 bc	0.101 b	134 b	59 b	3.0 ab	6.0 a
	ازتو باکتر Azotobacter	2.13 bc	0.095 b	123 b	57 bc	2.5 b	5.3 a
	تلفیق محرک‌های رشد Combination of growth Stimulants	2.57 a	0.130 a	151 a	67 a	3.3 a	6.2 a

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون و هر فواصل آبیاری اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means slicing by irrigation intervals in each year followed by the same letters have no significant difference on the basis of L.S. Means by Duncan test procedure.

ترکیبات محرک رشد توانایی خوبی برای افزایش غلظـت عناصـر کم مصرف برگ کلزا نشان دادند. محرک‌های رشد می‌تواننـد فعالیـت میکروبیولـوژیکی و آنزیمـی خـاک را افـزایش دهنـد. ایـن ترکیبـات می‌توانند بر ساختار ریشه تأثیر گذاشته و حلالیت و انتقال عناصر ریـز

مغذی را تغییر دهند (Rouphael and Colla, 2020). گزارش شده است که اسید هیومیک رشد ریشه را تحریک می‌کند و سبب افزایش تماس بین خاک و ریشه و دسترسی بیشتر به عناصر غذایی می‌شود (Canellas *et al.*, 2015). از سوی دیگر ترکیبات هومیک قادر به افزایش ظرفیت تبادل کاتیون خاک و کاهش اسیدیته خاک هستند که سبب افزایش حلالیت عناصر کم مصرف در خاک می‌گردد (Garcia-Mina *et al.*, 2004). برخی تحقیقات حاکی از افزایش رشد ریشه‌های گیاه با افزودن عصاره جلبک دریایی به دلیل تاثیر آن بر هورمون‌های گیاهی است (Battacharyya *et al.*, 2015). در هر حال سودمندی محرک‌های رشد نه تنها به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی بلکه می‌توانند به سبب افزایش رشد ریشه باشد (Kumar *et al.*, 2020). گزارش شده است که ترکیبات محرک رشد موجب تحریک بیان ژن‌های مسئول در آنزیم‌های مهم متابولیسمی شده و جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهند (Pylak *et al.*, 2019). کاربرد اسید فولیک به دلیل جذب کمتر فسفر در مقایسه با تیمارهای دیگر محرک رشد با نشان دادن اثر آنتاگونیسمی سبب افزایش غلظت آهن و مس در کاه و کلش و دانه گردید (جدول ۶). بررسی منابع نشان می دهد که افزایش غلظت فسفر در خاک باعث کاهش حلالیت عناصر کم مصرف در خاک شده و غلظت عناصر کم مصرف را در سیب‌زمینی و گندم کاهش می‌دهد (Mishra and Abidi, 2010; Hopkins and Ellsworth, 2003). فسفر در خاک با برخی عناصر کم مصرف می‌تواند تشکیل ترکیبات کم محلول و مقاومی بدهد که سبب کاهش انتقال عناصر کم مصرف از ریشه به سایر قسمت‌های گیاه گردد (Ova *et al.*, 2015). محققان (Moshiri *et al.*, 2016) حد بهینه آهن و منگنز را در برگ گندم به‌ترتیب بین ۳۰ تا ۲۰۰ و ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و حد بهینه روی و مس به‌ترتیب ۱۸ تا ۷۰ و ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بیان می‌کنند. بنابراین اگرچه در پاره‌ای از موارد میزان عناصر کم مصرف کمتر از حد بهینه بود، اما مصرف تلفیقی ترکیبات محرک رشد میزان این عناصر را تا حد بهینه رساند.

وزن خشک کاه و کلش، دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

اثر فواصل آبیاری بر وزن خشک کاه و کلش گندم معنی‌دار بود. از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، وزن خشک کاه و کلش گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). در سال اول، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش ۹ درصدی وزن خشک کاه و کلش نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر شد (جدول ۸). همچنین در سال دوم آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش ۲۰ درصدی وزن خشک کاه و کلش شد.

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر وزن خشک دانه گندم معنی‌دار بود از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، وزن خشک دانه گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش ۱۹ درصدی وزن خشک دانه گندم نسبت به شاهد شد که نسبت مصرف منفرد ترکیبات محرک رشد تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۹). در سال اول، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش ۲۱ درصدی وزن خشک دانه نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر شد (جدول ۸). همچنین در سال دوم آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش ۳۴ درصدی وزن خشک دانه شد.

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر عملکرد بیولوژیک گندم معنی‌دار بود. از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، عملکرد بیولوژیک گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش ۱۸ درصدی عملکرد بیولوژیک گندم نسبت به شاهد شد (جدول ۹). همچنین در سطح پایین‌تر ترکیبات منفرد محرک رشد عملکرد بیولوژیک را نسبت به شاهد بهبود دادند. نتایج دیگر نشان داد که در سال اول و دوم، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش به‌ترتیب ۱۴ و ۲۵ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر شد (جدول ۸).

اثر فواصل آبیاری بر شاخص برداشت گندم معنی‌دار بود از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، شاخص برداشت گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). در سال اول، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش ۸ درصدی شاخص برداشت نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر شد (جدول ۸). همچنین در سال دوم آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش ۱۱ درصدی شاخص برداشت شد.

کاهش وزن خشک دانه و عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر ناشی از تاثیر تنش خشکی بر انتقال اسیمیلات‌ها می‌باشد. گزارش شده است که کمبود شدید آب به دلیل اختلال در توزیع مواد فتوسنتزی عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. از آنجایی که در انتهای مرحله رویشی، گیاه با سرعت تقریباً زیادی تولیدات فتوسنتزی را به اندام‌های زایشی منتقل می‌کند، بنابراین بروز تنش خشکی در این مرحله باعث آسیب زیادی به عملکرد دانه می‌شود. از دلایل احتمالی این رویداد می‌توان به کاهش دوره پر شدن دانه و در نتیجه کاهش وزن دانه اشاره نمود (Dehkhoda *et al.*, 2013). رافائل و کولا (Rouphael and Colla, 2020) عنوان کردند که محرک‌های رشد با بهبود خصوصیات

فیزیولوژیکی سبب جذب عناصر غذایی و افزایش عملکرد گیاه می‌شوند. محققین دیگری هم نتایج مشابهی برای ذرت با استفاده از ترکیبات محرک رشد گزارش کرده‌اند (Tejada *et al*., 2018). ترکیبات محرک رشد مثل جلبک دریایی با بهبود وضعیت جذب عناصر غذایی و توانایی بیشتر در افزایش تولید مواد فتوسنتزی سبب بهبود عملکرد دانه می‌شود (Layek *et al*., 2018). می‌توان استنباط کرد که مواد محرک رشد از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی از جمله رنگیزه‌های فتوسنتزی در گندم شده است (Supraja *et al*., 2020). بنابراین با توجه به گزارش‌های محققان، افزایش جذب عناصر غذایی در گندم می‌تواند عملکرد دانه را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهد (Liu *et al*., 2017). همچنین در شرایط کمبود جذب عناصر غذایی، افزایش تجمع ماده خشک محدود می‌شود و عملکرد بیولوژیکی گیاه کاهش خواهد یافت (Rajaie and Charkhandeh, 2019). بر اساس میزان و توزیع ماهانه بارندگی در طول دوره رشد گیاه (شکل ۱)، با وجود میزان بارندگی بیشتر در سال دوم آزمایش، میزان کل آب مصرفی در دو سال تقریباً یکسان بود. در این رابطه همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد کمبود بارندگی در سال اول با آبیاری بیشتر جبران شده است. به‌طوری که در سال اول، ۳ آبیاری در شرایط نرمال و ۲ آبیاری در شرایط تنش بیشتر از سال دوم بوده است. در هر حال عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط آبیاری ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی در سال اول نسبت به سال دوم بیشتر بود. شاید بتوان گفت که کاهش بعضی از صفات در سال دوم به دلیل تفاوت در سایر شاخص‌های محیطی و اقلیمی سال مذکور باشد.

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای فواصل آبیاری و محرک رشد بر صفات عملکردی در گندم

Table 7- Analysis of variance for the effects of irrigation intervals and growth stimulants on yield characteristics of Wheat

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی d.f	وزن کاه و کلش Straw weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد سنبله Spikes number	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن هزار دانه Thousand seed weight
Block تکرار	2	ns	ns	**	ns	ns	**	ns
فواصل آبیاری Irrigation intervals (Ii)	1	**	**	**	*	**	ns	**
تکرار×آبیاری Block × Ii (E_a)	2	734995	310282	134190	13.2	103.6	0.103	4.5
محرک رشد Growth stimulants (Gs)	6	ns	*	**	ns	**	*	**
فواصل آبیاری×محرک رشد Ii × Gs	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
تکرار×محرک رشد Block × Gs (E_b)	24	3139102	835848	2064510	33.7	756.3	19.8	13.2
Year سال	1	**	**	ns	**	**	ns	ns
فواصل آبیاری×سال Ii × Year	1	**	**	**	*	**	ns	**
تکرار×فواصل آبیاری×سال Block × Ii × Year (E_c)	4	782165	108672	816204	6.2	442.2	55.7	4.7
محرک رشد×سال Gs × Year	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
فواصل آبیاری×محرک رشد×سال Ii × Gs × Year	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Error خطا	24	3257124	551192	2563780	28.38	1077	10.9	8.16
C.V. (%) ضریب تغییرات	-	14.8	10.2	8.2	14.3	6.7	7.4	7.4

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار.

*, ** and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر سال و فواصل آبیاری روی وزن کاه و کلش، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، تعداد سنبله و وزن هزار دانه در گندم

Table 8- Mean comparison of year and irrigation intervals on straw weight, grain yield, biological yield, harvest index, spikes number and thousand seed weight in Wheat

سال Year	فواصل آبیاری (تبخیر تجمعی) Irrigation intervals (Cumulative evaporation)	وزن کاه و کلش Straw weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد سنبله Spikes number	وزن هزار دانه Thousand seed weight
		kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	٪	number per m^2	g
1 (2017-2018)	70	12250 a	8854 a	21104 a	42.1 a	505 a	40.6 a
	140	11195 b	7010 b	18206 b	38.8 b	495 a	36.3 b
2 (2018-2019)	70	14082 a	7883 a	21966 a	35.9 a	527 a	42.8 a
	140	11191 b	5223 b	16414 b	31.9 a	426 b	34.0 b

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون و هر فواصل آبیاری اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means slicing by irrigation intervals in each year followed by the same letters have no significant difference on the basis of L.S. Means by Duncan test procedure.

جدول ۹- اثر محرک رشد روی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در گندم

Table 9- Effect of growth stimulants on seed weight, biological yield, spikes number, number of seed per spike and thousand seed weight in Wheat

محرک‌های رشد Growth stimulants	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	تعداد سنبله Spikes number	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن هزار دانه Thousand seed weight
	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	number per m^2	-	g
شاهد Control	6520 b	17700 c	454 c	41.6 b	36.0 b
اسید آمینه Amino Acid	7329 ab	19727 ab	493 ab	44.0 ab	38.2 ab
اسید هیومیک Humic Acid	7215 ab	19302 b	490 ab	44.8 ab	38.5 ab
اسید فولیک Fulvic Acid	7299 ab	19122 b	489 ab	44.9 ab	38.8 ab
عصاره جلبک دریایی Seaweed Extract	7248 ab	19232 b	495 ab	44.5 ab	38.5 ab
ازتو باکتر Azotobacter	7312 ab	19994 ab	486 b	44.9 ab	37.5 b
تلفیق محرک‌های رشد Combination of growth Stimulants	7773 a	20879 a	512 a	47.3 a	41.4 a

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر تعداد سنبله گندم معنی‌دار بود از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، تعداد سنبله گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش ۱۳ درصدی تعداد سنبله گندم نسبت به شاهد شد (جدول ۹). همچنین پس از آن ترکیبات منفرد محرک رشد تعداد سنبله گندم را بهبود دادند. نتایج دیگر نشان داد که در سال دوم، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش ۱۹ درصدی تعداد سنبله نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر شد (جدول ۸). اما در سال اول اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف آبیاری وجود نداشت.

اثر ترکیبات محرک رشد بر تعداد دانه در سنبله گندم معنی‌دار بود

(جدول ۷). تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش تعداد دانه در سنبله نسبت به شاهد شد (جدول ۹). از سوی دیگر مصرف منفرد ترکیبات محرک رشد نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند.

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر وزن هزار دانه گندم معنی‌دار بود. از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، وزن هزار دانه گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). بیشترین میزان وزن هزار دانه گندم در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد مشاهده شد (جدول ۹). نتایج دیگر نشان داد که در سال اول و دوم، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به آبیاری ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر گردید (جدول ۸).

کاهش تعداد سنبله و وزن هزار دانه در تیمار آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر رطوبتی ناشی از تاثیر منفی تنش خشکی بر این صفات می‌باشد. گزارش شده اشت که کمبود شدید آب به‌دلیل اختلال در توزیع مواد فتوسنتزی اجزای عملکرد را کاهش می‌دهد (Attarzadeh *et al.*, 2019). تنش خشکی از طریق تاثیر بر مرحله دانه‌بندی و طول دوره پر شدن دانه سبب کاهش اجزای عملکردی می‌شود (Bellaloui *et al.*, 2011). از سوی دیگر افزایش جذب عناصر غذایی منجر به افزایش عملکرد زایشی شده است که به‌دنبال آن تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه افزایش یافته است. در سامانه‌های تغذیه تلفیقی به‌دلیل بهبود سیستم ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی، سطح برگ گیاه افزایش می‌یابد. افزایش سطح برگ منجر به افزایش جذب نور و در نتیجه افزایش فرایندهای فتوسنتزی و تولید اسمیلات بیشتر می‌شود (Romero-Munar *et al.*, 2017). بنابراین در اثر کمبود عناصر غذایی فتوسنتز کاهش می‌یابد، اما افزایش جذب عناصر غذایی موجب تولید ماده خشک بیشتری شده و در نتیجه سبب افزایش اجزای عملکرد در گندم می‌گردد (Shaikh and Saraf, 2017). گزارش‌های مشابهی از افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در اثر استفاده از ترکیبات محرک رشد مثل جلبک دریایی وجود دارد (Layek *et al.*, 2018).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که جذب برخی عناصر غذایی تحت تاثیر تیمار ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر قرار گرفته است. البته در سال دوم کاشت به دلیل وجود بارندگی‌های مکرر تا قبل از گلدهی، تیمار ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر تاثیری کمتری بر جذب عنصر غذایی داشت. گرچه در سال دوم میزان بارش به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالا بود، اما به دلیل عدم وجود بارندگی در مرحله گلدهی و مرحله انتهایی دوره رشد عملکرد گیاه کاهش محسوسی را نشان داد. می‌توان چنین استنباط کرد که تنش خشکی سبب محدود کردن انتقال اسیمیلات ها شده و در نتیجه عملکرد دانه گندم را کاهش داده است. این امر نشان‌دهنده حساسیت بیشتر مراحل گل‌دهی، گرده‌افشانی و پر شدن دانه به تنش خشکی نسبت به مراحل رویشی می‌باشد. همچنین ترکیبات محرک رشد سبب افزایش معنی‌دار عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر کم مصرف آهن، روی، منگنز و مس در کاه و کلش و دانه گندم شد. در بین ترکیبات محرک رشد به‌کار رفته در این پژوهش، تلفیق این ترکیبات تاثیر بارزتری را بر غلظت عناصر غذایی داشت. همچنین استفاده از تلفیق ترکیبات محرک رشد در افزایش وزن خشک دانه و عملکرد بیولوژیکی گندم موثر بود و سبب افزایش اجزای عملکرد گندم گردید. از این‌رو تلفیق ترکیبات محرک رشد می‌تواند برای بهبود جذب عناصر غذایی و عملکرد دانه گندم استفاده گردند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس که صمیمانه ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر می‌نماییم.

References

1. Aamir, M., Rai, K. K., Zehra, A., Dubey, M. K., Kumar, S., Shukla, V., and Upadhyay, R. S. 2020. Microbial bioformulation-based plant biostimulants: a plausible approach toward next generation of sustainable agriculture. Microbial Endophytes. pp. 195-225. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819654-0.00008-9.
2. Anjum, N. A., Gill, S. S., and Gill, R. 2014. Plant adaptation to environmental change: significance of amino acids and their derivatives (CABI).
3. Arif, M., Ilyas, M., Riaz, M., Ali, K., Shah, K., Haq, I. U., and Fahad, S. 2017. Biochar improves phosphorus use efficiency of organic-inorganic fertilizers, maize-wheat productivity and soil quality in a low fertility alkaline soil. Field Crops Research 214: 25-37. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.018.
4. Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M. M., and Salehi, A. 2020. Improving growth and phenolic compounds of *Echinacea purpurea* root by integrating biological and chemical resources of phosphorus under water deficit stress. Industrial Crops and Products 154: 112763. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112763.
5. Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M. M., and Salehi, A. 2019. Improvement of *Echinacea purpurea* performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes.

Agricultural Water Management 221: 238-247. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.022.
6. Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., and Prithiviraj, B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae 196: 39-48. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012.
7. Bellaloui, N., Ebelhar, M. W., Gillen, A. M., Fisher, D. K., Abbas, H. K., Mengistu, A., Reddy, K. N., and Paris, R. L. 2011. Soybean seed protein, and fatty acids are altered by S and S+N fertilizers under irrigated and nonirrigated environments. Agricultural Sciences 2 (4): 465-476. http://dx.doi.org/10.4236/as.2011.24060.
8. Bulgari, R., Franzoni, G., and Ferrante, A. 2019. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. Agronomy 9 (6): 1-30. https://doi.org/10.3390/agronomy9060306.
9. Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., and Piccolo, A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae 196: 15-27. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013.
10. Dehkhoda, A., Naderidarbaghshahi, N., Rezaei, A., and Majdnasiri, B. 2013. Effect of water efficiency stress on yield and yield component of sunflower cultivars in Isfahan. International Journal of Farming and Allied Sciences 2 (2): 1319-1324.
11. Dotaniya, M. L., and Meena, V. D. 2015. Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences 85: 1-12. https://doi.org/10.1007/s40011-013-0297-0.
12. Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae 196: 3-14. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021.
13. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12.
14. Flakelar, C. L., Luckett, D. J., Howitt, J. A., Dorana, G., and Prenzler, P. D. 2015. Canola (*Brassica napus*) oil from Australian cultivars shows promising levels of tocopherols and carotenoids, along with good oxidative stability. Journal of Food Composition and Analysis 42: 179-186. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.03.010.
15. Garcia-Mina, J., Antolin, M., and Sanchez-Diaz, M. 2004. Metal-humic complexes and plant micronutrient uptake: A study based on different plant species cultivated in diverse soil types. Plant and Soil 258: 57-68. https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000016509.56780.40.
16. Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T., and Yermiyahu, U. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. In: Sparks, D.L. (Ed.), Advances in Agronomy 129: 141-174. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001.
17. Hopkins, B., and Ellsworth, J. 2003. Phosphorus nutrition in potato production. Idaho Potato Conference, Idaho University.
18. Khan, A., Guramni, A. R., Khan, M. Z., Hussain, F., Akhtar, M. E., and Khan. S. 2012. Effect of humic acid on growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (*Pisum sativum* L.). Journal of Chemical Society of Pakistan 6: 56-63.
19. Khatiwada, A., Neupane, I., Sharma, B., Bhetwal, N., and Pandey, B. 2020. Effects of drought stress on yield and yield attributing characters of wheat: A Review. Agriways 8 (2): 115-121.
20. Klokic, I., Koleska, I., Hasanagic, D., Murtic, S., Bosancic, B., and Todorovic, V. 2020. Biostimulants' influence on tomato fruit characteristics at conventional and low-input NPK regime. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science 70: 233-240. https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1711156.
21. Kumar, R., Trivedi, K., Anand, K. V., and Ghosh, A. 2020. Science behind biostimulant action of seaweed extract on growth and crop yield: insights into transcriptional changes in roots of maize treated with Kappaphycus alvarezii seaweed extract under soil moisture stressed conditions. Journal of Applied Phycology 32: 599-613. https://doi.org/10.1007/s10811-019-01938-y.
22. Lang, C. A. 1958. Simple microdetermination of Kjeldahl nitrogen in biological materials. Analytical Chemistr. 30: 1692-1694. https://doi.org/10.1021/ac60142a038.
23. Layek, J., Das, A., Idapuganti, R. G., Sarkar, D., Ghosh, A., Zodape, S. T., Lal, R., Yadav, G. S., Panwar, A. S., and Ngachan, S. 2018. Seaweed extract as organic bio-stimulant improves productivity and quality of rice in eastern Himalayas. Journal of Applied Phycology 30: 547-558. https://doi.org/10.1007/s10811-017-1225-0.
24. Liu, D. Y., Zhang, W., Pang, L. L., Zhang, Y. Q., Wang, X. Z., Liu, Y. M., Chen, X. P., Zhang, F. S., and Zou, C. Q. 2017. Effects of zinc application rate and zinc distribution relative to root distribution on grain yield and grain Zn concentration in wheat. Plant and Soil 411 (1-2): 167-178. https://doi.org/10.1007/s11104-016-2953-7.
25. Madison, W. 1971. Instrumental method for analysis of soil and plant tissue. Soil Science Society USA, pp. 182-247.
26. Mishra, L. K., and Abidi, A. B. 2010. Phosphorous-Zinc interaction: effect on yield components and biochemical composition and bread making qualities of wheat. World Applied Sciences Journal 10 (5): 568-573.
27. Moshiri, F., Tehrani, M. M., Shahabi, A. A., Keshavarz, P., khoogar, Z., Faizi Asl, W., Asadi Rahmani, H., Samavat, S., Sadri, M. H., Rashidi, N., and Khademi, Z. 2016. A manual for intrgrated management of soil

fertility and weath nutrition. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran.
28. Ova, E. A., Kutman, U. B., Ozturk, L., and Cakmak, I. 2015. High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution. Plant and Soil 393: 147-162. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2483-8.
29. Pylak, M., Oszust, K., and Frąc, M. 2019. Review report on the role of bioproducts, biopreparations, biostimulants and microbial inoculants in organic production of fruit. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 1-20. https://doi.org/10.1007/s11157-019-09500-5.
30. Raimondo, M., Nazzaro, C., Marotta, G., and Caracciolo, F. 2021. Land degradation and climate change: Global impact on wheat yields. Land Degradation and Development 32: 387-398. https://doi.org/10.1002/ldr.3699.
31. Rajaie, M., and Charkhandeh M. 2019. Improvement of the yield and grain protein in barley (*Hordeum valgare* L.) by iron, manganese and zinc foliar spray. 16 (1): 1-14.
32. Razi, K., and Muneer, S. 2021. Drought stress-induced physiological mechanisms, signaling pathways and molecular response of chloroplasts in common vegetable crops. Critical Reviews in Biotechnology 41 (5): 1-40. https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1874280.
33. Romero-Munar, A., Del-Saz, N. F., Ribas-Carbó, M., Flexas, J., Baraza, E., Florez-Sarasa, I., Fernie, A. R., and Gulías, J. 2017. Arbuscular mycorrhizal symbiosis with arundo donax decreases root respiration and increases both photosynthesis and plant biomass accumulation. Plant, Cell Environment 40: 1115-1126. https://doi.org/10.1111/pce.12902.
34. Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., and Cavagnaro, T. R. 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. In: Sparks, D.S. (Ed.), Advances in Agronomy 124: 37-89. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4.
35. Rouphael, Y., and Colla, G. 2020. Biostimulants in agriculture. Frontiers in Plant Science 11. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040.
36. Sabagh, A. E., Hossain, A., Barutçular, C., Islam, M. S., Ratnasekera, D., Kumar, N., Meena, R. S., Gharib, H. S., Saneoka, H., and da Silva, J. A. T. 2019. Drought and salinity stress management for higher and sustainable canola (*Brassica napus* L.) production: A critical review. Australian Journal of Crop Science 13: 88.
37. Saeidi, M., Moradi, F., and Abdoli, M. 2017. Impact of drought stress on yield, photosynthesis rate, and sugar alcohols contents in wheat after anthesis in semiarid region of Iran. Arid Land Research and Management 31: 204-218. https://doi.org/10.1080/15324982.2016.1260073.
38. Shaikh, S., and M. Saraf. 2017. Biofortification of *Triticum aestivum* through the inoculation of zinc solubilizing plant growth promoting rhizobacteria in field experiment. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 9: 120-126. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.12.008.
39. Supraja, K., Behera, B., and Balasubramanian, P. 2020. Efficacy of microalgal extracts as biostimulants through seed treatment and foliar spray for tomato cultivation. Industrial Crops and Products 151: 112453. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112453.
40. Tejada, M., Rodríguez-Morgado, B., Paneque, P., and Parrado, J. 2018. Effects of foliar fertilization of a biostimulant obtained from chicken feathers on maize yield. European Journal of Agronomy 96: 54-59. https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.03.003.
41. Trethowan, R. M., and Mujeeb-Kazi, A. 2008. Novel germplasm resources for improving environmental stress tolerance of hexaploid wheat. Crop Science 48: 1255-1265. https://doi.org/10.2135/cropsci2007.08.0477.